

corr. to US 3,399,014

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-49890

(43)公開日 平成5年(1993)3月2日

(51)Int.Cl.⁶

B 01 F 7/16

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F 7224-4G

審査請求 未請求 請求項の数6(全11頁)

(21)出願番号 特願平3-193003

(22)出願日 平成3年(1991)8月1日

(31)優先権主張番号 特願平2-209808

(32)優先日 平2(1990)8月7日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平2-401347

(32)優先日 平2(1990)12月11日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平3-139235

(32)優先日 平3(1991)6月11日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000192590

神鋼バンテック株式会社

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目4番78号

(72)発明者 高田 一貴

神戸市垂水区高丸7丁目4番 B104号

(72)発明者 菊池 雅彦

明石市貴崎5丁目9番58-601号

(72)発明者 伊藤 久善

宝塚市仁川北2-9-76

(72)発明者 岡本 幸道

神戸市垂水区つつじが丘4-8-1, 3-1402

(74)代理人 弁理士 金丸 章一

最終頁に続く

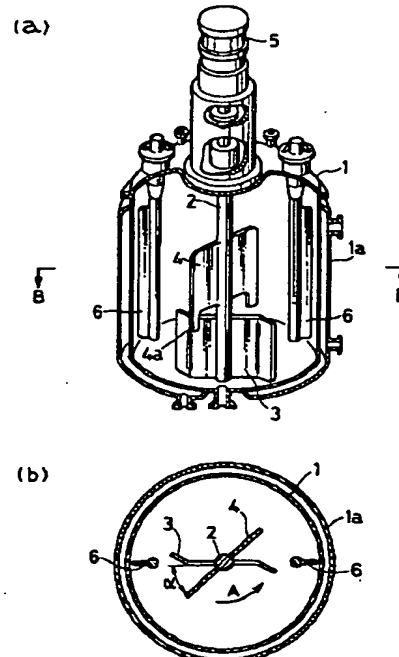
(54)【発明の名称】 攪拌装置

(57)【要約】

【目的】 複数のバドル翼を上下多段に配置した攪拌装置において、上下で隣接するバドル翼間の交差角度を混合上最適な角度関係におくことで、これら翼から吐出される液の流れを繋ぎ、攪拌槽内全体に及ぶフローパターンを形成せしめて、攪拌効率を高める。

【構成】 上段に位置するバドル翼(4)を上下で隣接する下段のバドル翼(3)に対して、45度~75度の交差角度 α で回転方向に先行させて配置する。また、最下段のバドル翼(3)の外端部を後退翼に形成する。また、上下で隣接するバドル翼(3),(4)それぞれの少なくとも外端部において上下方向にオーバーラップさせる。

【効果】 上下段のバドル翼を、90度未満の交差角度で配置するという実施上容易な攪拌翼構成を採ることで、遷移流から層流域に至る攪拌操作条件下における液の攪拌効率を大幅に向上させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 堅型円筒状の攪拌槽内中心部に回転軸を垂設し、この回転軸に複数のバドル翼を上下多段に装着すると共に、最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接させて配置し、かつ、上段に位置する各バドル翼を上下で隣接する下段のバドル翼に対して90度未満の交差角度で回転方向に先行させて配置したことを特徴とする攪拌装置。

【請求項2】 上記交差角度を45度～75度としたことを特徴とする請求項1記載の攪拌装置。

【請求項3】 最下段のバドル翼の外端部を後退翼に形成したことを特徴とする請求項1記載の攪拌装置。

【請求項4】 最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大スパンとしたことを特徴とする請求項1記載の攪拌装置。

【請求項5】 上下で隣接するバドル翼それぞれの翼間距離を攪拌槽の内径寸法の20%以下の寸法としたことを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の攪拌装置。

【請求項6】 上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせたことを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の攪拌装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は攪拌装置に関し、特に、乱流域から層流域に至る攪拌操作条件下における液の混合、溶解、晶析、反応、スラリー懸濁などの攪拌処理を効率良く行うための攪拌装置に関する。

【0002】

【従来の技術】周知のように、攪拌装置には、その目的に応じ種々の形態の攪拌翼が用いられており、例えば、低粘度用翼としてのタービン型翼などや、高粘度用翼としてのダブルヘリカル翼などがあるが、比較的単純な翼構成で、低粘度液から高粘度液の攪拌混合、すなわち乱流域から層流域に至る広範囲の攪拌操作条件下における攪拌混合を達成するものとして、2葉翼形のバドル翼を上下2段または3段以上に組み合わせて設けた多段攪拌翼構成が多く採用されている。

【0003】そして、これら多段攪拌翼構成を採る攪拌装置においては、翼の回転バランスと翼面に働く流体圧変動に対する回転軸の機械的強度上の見地から、各翼を90度の交差角度で互いに交差させて配置する方法が圧倒的に多く採用されており、また、一般に、消費動力の観点から、翼幅を小さくし、各翼間の距離を大幅にあげた状態で上下多段に配置されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】一方、近年においては、攪拌装置の性能に対する要求は高度化・多様化しており、より広範囲な攪拌条件に対応できる攪拌装置が求められている。特に、バッチプロセスでは、次のように

多様かつ高度な攪拌混合条件を満たす攪拌装置が望まれている。

①均一混合；広い粘度範囲での良好な混合と、液量と粘度の変化に対応して良好な均一混合が果たせる。

②伝熱性能；低動力攪拌時において良好な伝熱能力が得られる。

③固液攪拌；比較的沈降速度の大きな粒子の分散や、高濃度スラリーの均一混合および低剪断（低回転）での均一混合などの広範囲の固液攪拌が果たせる。

④液液分散；シャープな液滴径分布が得られ、かつ低剪断と、攪拌で粘度が増加する液中への軽液分散とを両立させた液液分散が果たせる。

⑤翼形状の単純性；各翼形状がシンプルでグラスライニング製の反応機類にも適用可能である。

【0005】本発明者等は、これら要請に対応するために、多段攪拌翼構成を採る従来の攪拌装置について、多方面から検討を加えた。その結果、上記の各条件を個々に満たす攪拌装置の選定はさほど難しくはないが、これら従来の攪拌装置には以下の問題点があるため、多項目を同時に満足させる仕様選定は非常に困難であり、上記の要請に対応するには、新たな観点のもとで改善または開発されたものが必要であることが分かった。

【0006】各バドル翼の交差角度を90度とした前記従来の攪拌装置では、各翼から吐出される流体の流れによって各翼の周りに形成されるフローバタンの繋がり不十分である。そのため流体が攪拌槽内で上下多層に分離する要因となり、かつ槽内にデッドスペースを生じる原因にもなり混合性能に悪影響を及ぼす。また、デッドスペースの発生は、流体の伝熱性能を低下させる要因となるばかりでなく、槽内壁面でのこげつきやコンタミを生じ易くし、攪拌効率を低下させる。

【0007】また、バドル翼等の平板形攪拌翼を上下多段に配置した場合、攪拌槽内には、各翼の回転によって各翼の周りに複数の独立した循環流が形成される。そして、この傾向は〔図6〕の(a)図に示すように、上段翼(61)と下段翼(62)との翼間距離 h を大きくあげた場合により顕著となり、また、このような場合には、翼間において循環流同志が干渉しあって流れの境界Bを生じさせ、この境界Bで上下の流体の混合が抑制される。逆に、翼間における循環流同志の干渉を防止するため(b)図に示すように、一方の翼を移動させて翼間距離 h を小さくすることが考えられるが、しかし、この場合には、総翼高を確保するために、いずれかの翼の翼高を、翼間距離 h を小さくした分だけ高く（図中の h' 分）する必要があり、消費動力の増加の要因となる。また、この場合には、翼高を拡大した翼の中央で循環流が分かれ、翼間を大きくあげた場合にみられるような循環流同志の干渉に基づく流れの境界B'が生じ、結果として、攪拌槽内全体の流れの繋がりや乱す要因となったりする。

【0008】しかしながら、これら問題点を解決するた

めに、各翼の最適交差角度や翼間距離を、各翼から吐出される流体の流れによって形成される攪拌槽内全体のフローパターンの観点から、理論的・定量的に開示したものはこれまで知られてなく、これが近來の要請を満たすための仕様選定を困難なものとしていた。

【0009】本発明は、上記従来技術の問題点の解決を目的とするもので、上下多段のバドル翼を混合上最適な位置関係に配置した攪拌翼構成として、各バドル翼間で適切な圧力勾配に起因する流れの繋がりを形成し、この流れが攪拌槽内全体に及ぶ1つの大きな循環流を形成して乱流域から遷移流および層流域に至る攪拌操作条件下における液の攪拌効率を高め得る攪拌装置の提供を目的とするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係る攪拌装置は以下の構成としている。すなわち、請求項1記載の攪拌装置は、型円筒状の攪拌槽内中心部に回転軸を垂設し、この回転軸に複数のバドル翼を上下多段に装着すると共に、最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接させて配設し、かつ、上段に位置する各バドル翼を上下で隣接する下段のバドル翼に対して90度未満の交差角度で回転方向に先行させて配置したことを特徴とする。

【0011】請求項2記載の攪拌装置は、上記交差角度を45度～75度としたことを特徴とする。

【0012】請求項3記載の攪拌装置は、最下段のバドル翼の外端部を後退翼に形成したことを特徴とする。

【0013】請求項4記載の攪拌装置は、最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大スパンとしたことを特徴とする。

【0014】請求項5記載の攪拌装置は、上下で隣接するバドル翼それぞれの翼間距離を攪拌槽の内径寸法の20%以下の寸法としたことを特徴とする。

【0015】請求項6記載の攪拌装置は、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせたことを特徴とする。

【0016】

【作用】攪拌槽内の流体は攪拌翼の回転によって半径方向に吐出される。バドル翼を上下多段に配置した攪拌装置では、各バドル翼それぞれから流体が吐出されるので、これらバドル翼からの吐出流同志を干渉させることなく、流れをスムーズに繋ぐことが混合効率を上げるに重要なポイントとなる。

【0017】ところで、上下多段のバドル翼の回転による流体の攪拌に際し、各翼それぞれの翼端部には、図6の(a)図に示したように、半径方向への吐出流が形成されると同時に、その上下方向に分かれて再びそれぞれの翼中心部に向かう循環流も形成される。そして、これら翼で形成された吐出流は、隣接する他方の翼の吐出流と干渉し合って流体を上下多層に分離させたり、他方

の翼の半径方向への吐出流に影響を及ぼしたりして、攪拌槽内全体の流れの繋がりを乱す要因となる。更には、各翼の交差角度を従来技術で常用される90度とした場合には、回転バランスは取れるものの、粘度域によっては上下の翼間の流れをスムーズに繋ぐことが困難となり、攪拌槽内全体の流れの繋がりを乱す要因となる。

【0018】そこで本発明者らは、まず、翼間距離が小さくて上下の翼で形成された吐出流同志の繋がりが易い配置関係において、各翼で形成された循環流の動きと交差角度との関連について詳細に検討した結果、これら循環流は翼に対して、ある回転遅れ位相をもって他方の翼に影響を及ぼしており、その回転遅れ位相と交差角度との相関が槽内の循環流の形成に大きく影響することを知見した。すなわち、上下のバドル翼の交差角度を変えると、これらバドル翼の前面に発生する圧力上昇部と後面に発生する圧力降下部の上下方向の位置関係も、その交差角度に応じて変化することになり、ある範囲内の交差角度を選択する時、上下のバドル翼からの吐出流の繋がりが最も安定するとの知見を得た。

【0019】そして、これらの関係を更に詳細に検討した結果、一方のバドル翼が形成する吐出流が、他方のバドル翼前面の高圧側に流れた場合、これら吐出流同志が干渉するため攪拌槽全体に及ぶ循環流が形成され難くなる。逆に、他方のバドル翼後面の低圧側に流れた場合には、互いの吐出流を乱すことなく上下の翼の間に高圧側から低圧側に向かう選択的な流れが形成され、これら翼から吐出される流れをうまく繋ぐことができ、これにより最適な圧力勾配に起因して攪拌槽内全体に及ぶ1つの大きな循環流が形成され、流体の攪拌効率を高め得るとの結論を得た。そしてまた、このような圧力勾配に起因する混合上最適なフローパターンを生じさせるには、上段のバドル翼を下段のバドル翼に対して90度未満で先行させれば良いとの推論に達した。

【0020】本発明者らは、この推論を確認するために、バドル翼を上下2段に交差させて配置した攪拌装置を基本形態のモデルとして選び、このモデル攪拌装置を基に、①上段翼と下段翼の交差角度 α （下段翼を基準とした上段翼の回転方向への先行角度）、②上段翼と下段翼の翼間距離 L 、③上段翼と下段翼の吐出力バランスの3因子の混合への影響を、数値実験および混合実験により検討した。

【0021】数値実験は、流動の数値解析とその解析結果を利用する混合のシュミレーションからなる。まず攪拌槽内の3次元流速分布を求め、次にその結果を用いて液面から投入した並散物質の濃度分布の経時変化をシュミレーションで求めた。なお、この数値実験の適用は、流体数値解析結果の信頼性の高い層流域に限定した。

【0022】一方、混合実験では、内径400mm、高さ800mm、容量80Lおよび内径200mm、高さ400mm、容量10Lの大小2種類の攪拌槽を使用し、混合時間の測定に

は、ヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法を利用した。また、ヨード溶液およびチオ硫酸ナトリウム溶液は、攪拌液と同じ粘度に調整したものを、混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。

【0023】先ず、①上段翼と下段翼の交差角度 α の違いが攪拌槽内の流動と混合過程に及ぼす影響を数値実験法により評価した。この実験では、内径D 200mmの攪拌槽内に、翼径d 120mm(0.6D)のバドル翼を翼間距離L 20mm(0.1D)で上下2段に配置し、粘度 μ 5Pa \cdot s、密度 ρ 1400kg/m³、攪拌レイノルズ数Re 8.4の攪拌液を、液深H 200mm(1.0D)、翼の回転数2.08 1/sの共通条件にて、上下段翼の交差角度 α を零度(上下翼を同一平面配置)から90度に変化させて攪拌した。その実験による流速分布および混合過程の代表例を〔図7〕に示す。なお、〔図7〕は攪拌槽の1/2縦断面における流速ベクトルと拡散物質の混合進展を表す濃度等高線とを示すグラフであって、(a)図のグラフは交差角度 α を45度とした例を、(b)図のグラフは交差角度 α を零度とした例をそれぞれ示す。

【0024】交差角度 α を零度とした時、(b)図のグラフに示すように上段バドル翼および下段バドル翼から吐出された流体は翼間において互いに衝突し、攪拌槽上部と下部との間の円滑な液体輸送を阻害する。一方、交差角度 α を45度とした時には、(a)図のグラフに示すように攪拌槽上部から下部への液体輸送が盛んである。また、これに対応する混合過程の相違は、交差角度 α が零度では投入後30秒経過しても下段翼部まで拡散物質は輸送されないに対して、交差角度 α が45度では投入後30秒で槽底部まで拡散物質が輸送される。すなわち上下のバドル翼を同一平面に配置するよりも、これら翼を45度の交差角度で配置する方が、上段翼と下段翼の流れが繋がりと、速やかな混合が達成される。また、本手法を用いて種々の交差角度 α を検討した結果、交差角度 α は30度以上90度未満の範囲内、望ましくは45度から75度が適切な角度範囲として見いだされ、これにより前述した推論が成立することが確認された。

【0025】続いて、②上段翼と下段翼の翼間距離Lの最適範囲を把握するために、上下段翼の交差角度 α を45度に設定する一方で、翼間距離Lを攪拌槽の内径Dの10%から30%の範囲に変化させ、上記と同条件の攪拌による実験を行った。その実験による流速分布を〔図8〕に示す。なお、〔図8〕は攪拌槽の1/2縦断面における流速ベクトルを示すグラフであって、(a)図のグラフは翼間距離Lを0.1D(10%)に設定した例を、(b)図のグラフは翼間距離Lを0.2D(20%)に設定した例を、(c)図のグラフは翼間距離Lを0.3D(30%)に設定した例をそれぞれ示す。

【0026】翼間距離Lが0.1Dから0.3Dまでに増加するに従い〔図8〕に示すように、上段バドル翼の吐出流が、下段バドル翼の回転域に進入する割合が減少し

て行き、0.3Dではほとんど進入することなく下段バドル翼の吐出流に押し返されている。一方、0.2D以下では下段バドル翼の回転域に進入して流れが繋がっている。従って、翼間距離Lを0.2D以下、好ましくは0.1Dに設定することによって、攪拌槽内での流れが繋がりと効率の良い混合を実現することができる。

【0027】更にまた、多段翼構成で効率良い攪拌混合を行うには、③上段翼と下段翼の吐出力バランスが重要であり、本実験では、層流域と乱流域での吐出力バランスを検討し、最下段のバドル翼に後退翼を採用して攪拌槽下部の吐出力を強化し粘度対応性と動力効率の向上を図った。3葉翼形について、層流時における通常の直線状バドル翼と後退翼周囲の半径方向吐出流速解析結果を〔図9〕に例示する。なお、〔図9〕の(a)図は後退翼周囲の半径方向の吐出流速分布を、(b)図は直線状バドル翼周囲の半径方向の吐出流速分布をそれぞれ示すグラフである。

【0028】〔図9〕に示すように、後退翼では、直線状バドル翼に認められる翼端後面での液体の吸込みSがなく、広い角度範囲にわたり液体が吐出されており、また最大吐出流速度も、同一外径の直線状バドル翼のそれに比べて30%大きい。一方、バドル翼の吐出流速度はその外径(翼スパン)に左右されるので、攪拌槽下部の吐出力を強化するには、最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大スパンとすることでも対応できる。

【0029】以上にて把握された最適条件より、交差角度 α を45度、翼間距離Lを0.1Dに組み合わせた多段バドル翼を用いると、粘度2Pa \cdot s以上の層流域では攪拌槽内全体が良好に混合された。しかし、粘度2Pa \cdot s以下の層流から乱流へ遷移する状態では、上下翼の流れの繋がりが不安定になり、混合がやや遅れ気味になる傾向が認められた。

【0030】この問題を解決するために種々検討を加えた結果、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせるとき、これらバドル翼から吐出される流れを、隣接するバドル翼の回転域に進入させてうまく繋ぐことができ、これにより最適な圧力勾配に起因するフローパターンが形成され、遷移域の流体についても攪拌効率を高め得るとの結論を得た。

【0031】そして、その効果を確認するために、上段バドル翼の両外側下端部に下方に向けて突出して下段バドル翼にオーバーラップする短冊形のフィン部を設け、この構成のもとで、粘度2Pa \cdot s以下の攪拌液を、上記条件にて攪拌した。その結果、上段バドル翼の両外側下端部に設けたフィン部により、上下段バドル翼の流れの繋がりが安定して速やかな混合が実現した。また、フィン部を設けたことにより、遷移域や乱流域において良好な均一混合を得ることができるようになり、層流域に

においてもフィン部のないものに比べて一層良好な混合が可能であることが確認された。

【0032】本発明は、以上に述べた調査で確認された諸条件を把握した上でなされたものである。すなわち、回転軸に上下多段に装着させた複数のバドル翼の、上段に位置する各バドル翼を上下で隣接する下段のバドル翼に対して90度未満の交差角度で回転方向に先行させて配置することで、上段翼と下段翼の流れを繋がらせて、速やかな混合を実現する。また、上記交差角度を45度～75度とすることで、上段翼と下段翼の流れの繋がりをより安定なものとし、より確実に速やかな混合を実現する。また、最下段のバドル翼の外端部を後退翼に形成することで、攪拌槽下部の吐出力を強化して、攪拌槽内全体のフローバタンを安定化させると共に、粘度対応性と動力効率を向上させる。また、最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大スパンとすることで、攪拌槽下部の吐出力を強化して、乱流域での攪拌槽内全体のフローバタンを安定化させると共に、粘度対応性と動力効率を向上させる。また、上下で隣接するバドル翼それぞれの翼間距離を攪拌槽の内径寸法の20%以下の寸法とすることで、上段翼と下段翼の流れの繋がりをより安定なものとし、より効率の良い混合を実現する。また、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせることで、遷移域の流体についても、上段翼と下段翼の流れの繋がりを確実かつ安定なものとして、良好な均一混合を実現する。

【0033】

【実施例】以下に、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0034】〔図1〕は本発明の1実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は一部を切り欠いた斜視図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。なお、本実施例は、本発明の攪拌翼構成をガラスライニング型機器に適用した例である。

【0035】〔図1〕において、(1)は攪拌槽であって、この攪拌槽(1)は、外周に熱交換用のジャケット(1a)を装着した縦型円筒容器に形成されている。また、この攪拌槽(1)の内周面寄りには、2枚の邪魔板(6)が円周方向に等ピッチに槽上部から垂設されている。

【0036】(2)は回転軸であって、この回転軸(2)は、攪拌槽(1)の中心部に垂設され、攪拌槽(1)の上方中央部に装着された駆動装置(5)により(b)図中の矢印Aで示す方向に回転駆動される。

【0037】(3)は下段翼であって、この下段翼(3)は、下縁部を攪拌槽(1)底の曲面に沿う形状に形成すると共に、両外側部を(b)図中の矢印Aに示す回転方向に対して後退翼に形成したバドル形翼で、回転軸(2)の下端部に装着されて攪拌槽(1)の底面に近接して配されている。

【0038】(4)は上段翼であって、この上段翼(4)は、その翼径を下段翼(3)の翼径と略同径とし、その両外側下端部に下方に向けて突出する短冊形のフィン部(4a)を設けたバドル形翼で、下段翼(3)の上方の回転軸(2)に装着されている。また、この上段翼(4)は、(b)図に示す交差角度 α 、すなわち下段翼(3)に対して矢印Aで示す回転方向に先行する交差角度を45度に設定すると共に、その両外側のフィン部(4a)の下端縁を、下段翼(3)の両外側の上端縁より所定寸法 Δh だけ低く位置させて、下段翼(3)と上下方向にオーバーラップさせて配されている。

【0039】上記のような構成の攪拌装置について、中高粘度域での混合効率の向上効果を確認するため、2枚のバドル翼を交差角度90度で上下2段に配した従来の攪拌との対比において、攪拌レイノズル数 Re 11.7の層流状態で流速ベクトル分布と拡散物質の液面および槽底での濃度曲線を数値実験で求めた。この実験では、内径 D 200mmの攪拌槽内に、翼径 d 120mm(0.6 D)のバドル翼を交差角度 α を45度として上下2段に配置し、液深 H を250mm(1.25 D)、翼の回転数を 2.08 1/sに設定すること共通条件とした。また、本実施例の装置の上段翼フィン部の下段翼に対するオーバーラップ寸法 Δh は0.05 D とした。その結果を〔図2〕に示す。なお、〔図2〕は攪拌槽内の流速ベクトルと、濃度応答曲線とを示すグラフであって、(a)図のグラフは本実施例の攪拌装置によるもの、(b)図のグラフは比較例として交差角度 α を90度とした従来の攪拌装置によるものをそれぞれ示す。

【0040】従来の攪拌装置では(b)図のグラフに示すように、上下段バドル翼の流れの繋がりがあっても、約180秒経過しても液面部と槽底部での濃度に若干の差が残る混合が終わっていない。これに対し本実施例の攪拌装置では(a)図のグラフに示すように、上下段翼の流れが良好に繋がり、約90秒後に液面部と槽底部の濃度が一致して混合が終わった。

【0041】以上により本実施例の攪拌装置は、従来の攪拌装置による混合時間に比べて半分以上と、大幅に短時間で攪拌混合を達成できることが確認できた。また、その上下段翼ともに形状がシンプルであり、回転軸と一体化させて外面にガラス被覆する際に、高温焼成によって生じる変形の問題が少なく、本実施例のようなガラスライニング型機器への適用が容易である。

【0042】なお、〔図1〕に示した例の攪拌装置では、上下2段の攪拌翼構成としたが、これは一例であって、例えば、〔図3〕に示すように、バドル形翼を上下3段に配した構成の攪拌翼とされても良く、また、本発明の要旨を逸脱しない限り、装置規模や液深に対応して3段以上の攪拌翼構成を採用されても良い。また、攪拌槽の内周面寄りに2枚の邪魔板を配置したが、これら邪魔板は高粘度液の攪拌混合には不要である。

【0043】〔図3〕は本発明の別の実施例の攪拌装置

の一部を切り欠いた斜視図である。なお、同図において〔図1〕と同符号を付したものは等価のもので、ここでは説明を省略する。

【0044】この実施例の攪拌装置では、下段翼(3)の上方の回転軸(2)に、〔図1〕と同様に両外側下端部にフィン部(4a)を設けた上段翼(4)が上下2段に装着され、全体として3段の攪拌翼構成とされている。また、下段翼(3)および2枚の上段翼(4)は、互いの交差角度を45度に設定して配置され、また、2枚の上段翼(4)は、それぞれのフィン部(4a)を隣接する下方の翼と上下

方向にオーバーラップさせて配されている。

【0045】この実施例のような攪拌翼構成によれば、液深変化に対応して槽内全域を均等に攪拌でき、装置の大型化および攪拌能力の増大にも容易に対応できる。

【0046】なお、〔図1〕および〔図3〕に示した例の攪拌装置では、上段翼(4)の両外側下端部に短冊状のフィン部(4a)を設け、そのフィン部(4a)を下方に位置する他の翼と上下方向にオーバーラップさせることで、上下で隣接するバドル翼間の流れの繋がりを安定化させるものとしたが、これは一例であって、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせる本発明の要旨を逸脱しない限り、例えば、〔図4〕の(a)図に示すように下段翼(3)と上段翼(4)それぞれの一方の外側端部に短冊状のフィン部を設けて、また、〔図4〕の(b)図に示すように上段翼(4)の両外側下端部にフィッシュテイル状に突出するフィン部を設けて、更にまた、〔図4〕の(c)図に示すように下段翼(3)と上段翼(4)それぞれの両外側端部にフィッシュテイル状に突出するフィン部を設け等して、これらを互いに上下方向にオーバーラップさせることもできる。

【0047】また、〔図1〕および〔図3〕に示した例の攪拌装置では、攪拌槽下部の吐出力を強化して粘度対応性と動力効率の向上を図るため、最下段翼を後退翼に形成したが、これは必ずしも後退翼とする必要はなく、槽底部の吐出力を強化するには、最下段翼をその上段に位置する他の翼よりも大スパンのバドル形翼とすることも対応できる。

【0048】〔図5〕は本発明のまた他の実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は正断面図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。

【0049】〔図5〕において、(11)は攪拌槽であって、この攪拌槽(11)は、外周に熱交換用のジャケット(11a)を装着した堅型円筒容器に形成されている。また、この攪拌槽(11)の内周面上には、その軸方向に沿う上下方向に4枚の邪魔板(16)が円周方向に等ピッチに装着されている。

【0050】(12)は回転軸であって、この回転軸(12)は、攪拌槽(11)の中心部に垂設され、攪拌槽(11)の上方中央部に装着された駆動装置(15)により (b)図中の矢印

Aで示す方向に回転駆動される。

【0051】(13)は下段翼、(14)は上段翼であって、これら上・下段翼(14)、(13)は、翼径dおよび翼高hを同じとしたバドル形翼で、所定間隔を隔てて上下2段に回転軸(12)に装着されている。また、下段翼(13)は、下縁部を攪拌槽(11)底の曲面に沿う形状に形成されて攪拌槽(11)の底面に近接して配され、一方、上段翼(14)は、(b)図に示す交差角度 α 、すなわち下段翼(13)に対して矢印Aで示す回転方向に先行する交差角度を90度未満に設定すると共に、下段翼(13)との翼間距離Lを、攪拌槽(11)内径Dの20%以下に設定して配される。

【0052】上記のような構成の攪拌装置による上下翼の交差角度 α を変えて行った具体的な混合・攪拌例について、以下に述べる。

【0053】上記構成のもとで、攪拌槽(11)の内径Dを200mmとし、上・下段翼(14)、(13)の翼径dを120mm(0.6D)、翼高hを70mm(0.6D)、翼間距離Lを20mm(0.1D)とする一方で、上・下段翼(14)、(13)の交差角度 α を45度、60度および75度に設定した3種の攪拌装置を準備した。また、比較のために、上・下段翼の交差角度 α を90度、翼間距離Lを60mm(0.3D)とし点以外は本実施例のものと同一構成とした従来型の攪拌装置も準備した。

【0054】そして、これら4種の攪拌装置を用い、翼回転数を125rpmとする同一条件で、粘度 $\mu = 5\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、密度 $\rho = 1400\text{kg/m}^3$ の液を混合・攪拌して、それぞれによる液の完全混合時間を比較調査した。

【0055】その結果、液の完全混合時間は、交差角度を90度とした比較例のものでは150秒要したのに対して、本実施例のものでは、交差角度を45度とした例で104秒、60度とした例で102秒、75度とした例で114秒であり、従来型の比較例のものと比べて、液の混合・攪拌効率を約25%~30%と大幅に高めることができ、本発明装置の優れた混合効果を確認することができた。

【0056】なお、本実施例では、上・下段翼の翼間距離Lを20mmとしたが、これは一例であって、この翼間距離Lは攪拌槽内径Dの20%以下の寸法に設定されれば良い。但し、翼間距離を小さくするについては、〔従来技術〕の項で述べたように、液深に対応するための総翼高の増大に伴う消費動力の増加はあるが、混合時間短縮の点から、この翼間距離は攪拌槽内径の20%以下(望ましくは10%前後)において装置規模および経済性から選択されることになる。

【0057】また、本実施例では、下段翼を上段翼と同じ翼径および翼高のバドル形翼としたが、これは一例であって、第1実施例のように下段翼を後退翼に形成したり、または上段翼よりも大スパンな翼径とされることも、攪拌槽下部の吐出力を強化して槽内全体の流れをスムーズに繋がるに効果的である。

【0058】また、本実施例では、上下2段の攪拌翼構

成としたが、これは本発明構成の効果を評価・説明することを容易にするためであって、本発明の要旨を逸脱しない限り、装置規模や液深に対応して2段以上の多段攪拌翼構成を採られても同様な混合・攪拌効率の向上が図れることは言うまでもない。

【0059】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明に係る攪拌装置は、上下多段のバドル翼を、明確で混合上最適な位置関係に配置した攪拌翼構成として、各バドル翼間で適切な圧力勾配に起因する流れを形成して攪拌槽内全体におけるフローパタンの繋がりがあり、乱流域から層流域に至る攪拌操作条件下における流体の攪拌効率を大幅に向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は一部を切り欠いた斜視図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。

【図2】本発明の1実施例に関わる攪拌槽内の流速ベクトルと、濃度応答曲線とを示すグラフである。

【図3】本発明の別の実施例の攪拌装置の一部を切り欠いた斜視図である。

【図4】本発明に関わる翼のオーバーラップ形態の説明*

*図である。

【図5】本発明のまた他の実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は正断面図、(b)図は(a)図のB-B横断面図で図面である。

【図6】バドル翼を上下多段に配置した攪拌装置における翼間距離と循環流との関係を説明するための模式図である。

【図7】本発明に関わる交差角度との関係における攪拌槽内の流速ベクトルと、還元脱色の進展を表す濃度等高線とを示すグラフである。

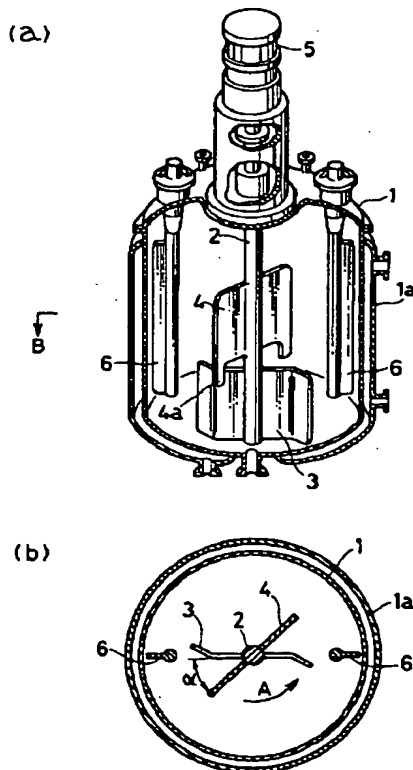
【図8】本発明に関わる翼間距離との関係における攪拌槽内の流速ベクトルを示すグラフである。

【図9】本発明に関わる後退翼周囲の半径方向の吐出流速分布と、通常のパドル翼周囲の半径方向の吐出流速分布とを示すグラフである。

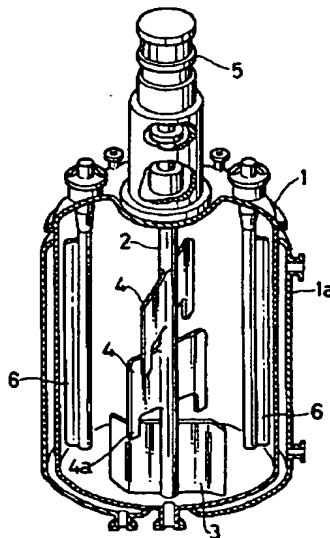
【符号の説明】

- (1) —攪拌槽
- (2) —回転軸
- (3) —下段翼
- (4) —上段翼
- (5) —駆動装置
- α — 交差角度

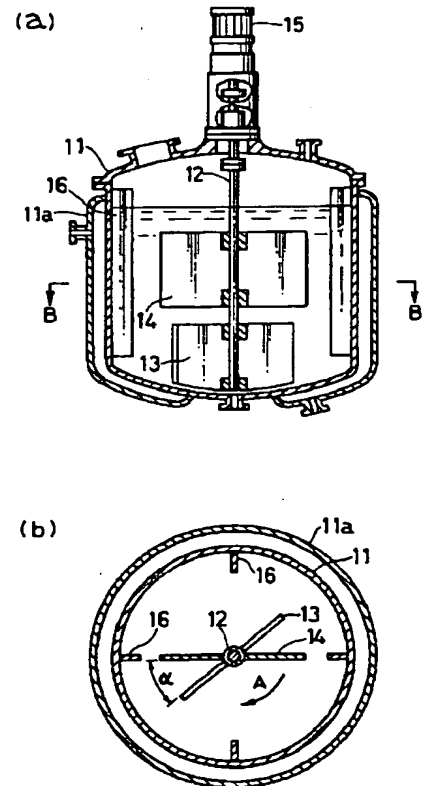
【図1】



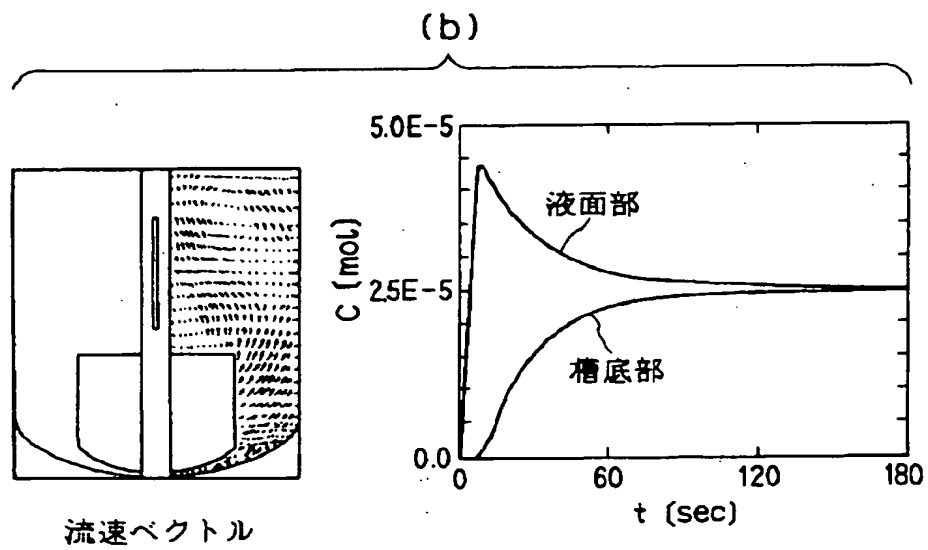
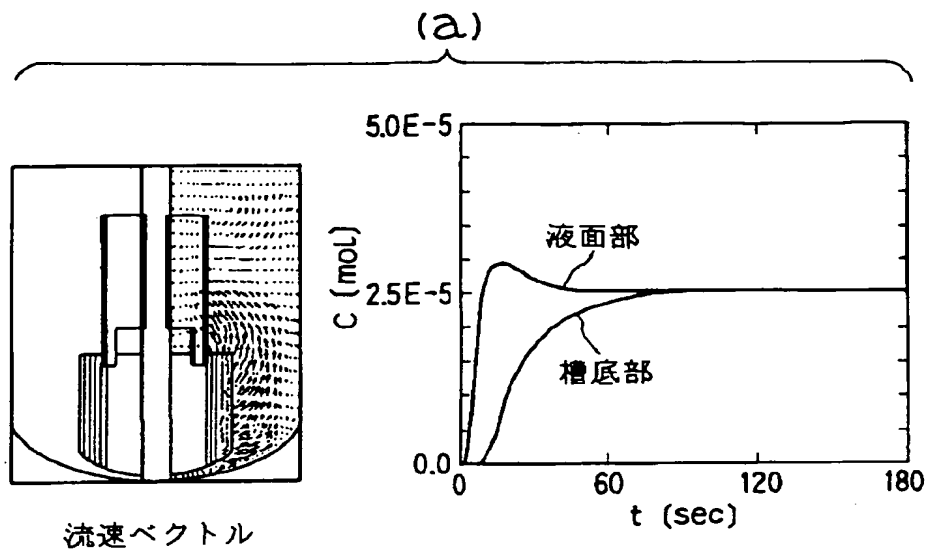
【図3】



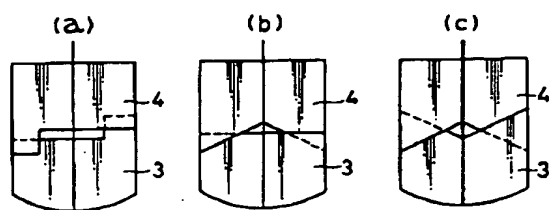
【図5】



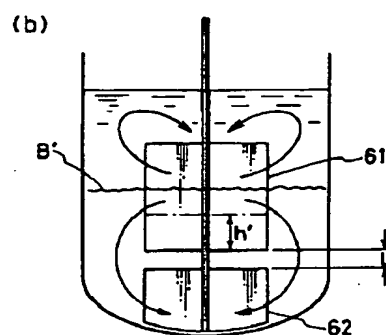
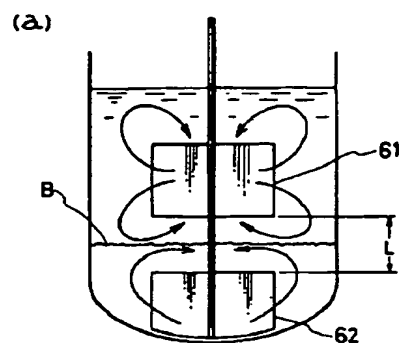
【図2】



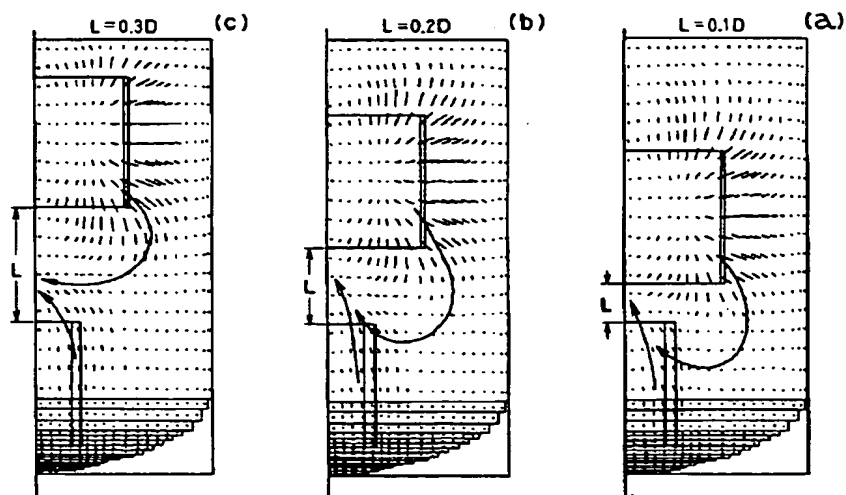
【図4】



【図6】

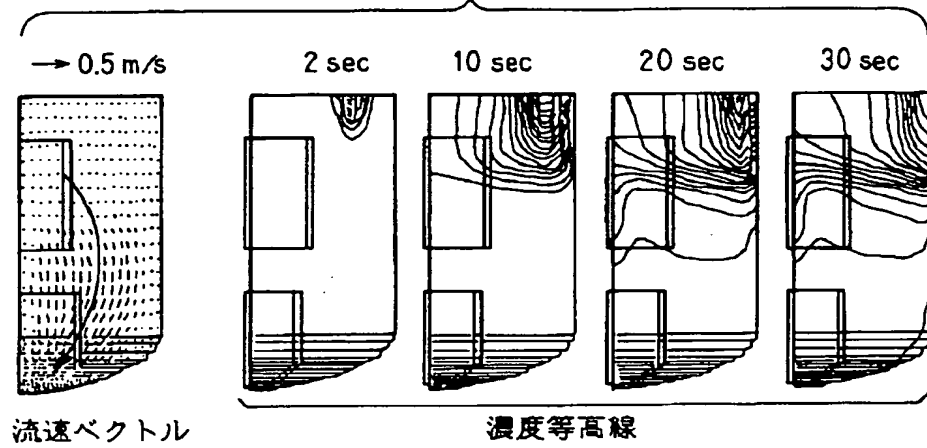


【図8】

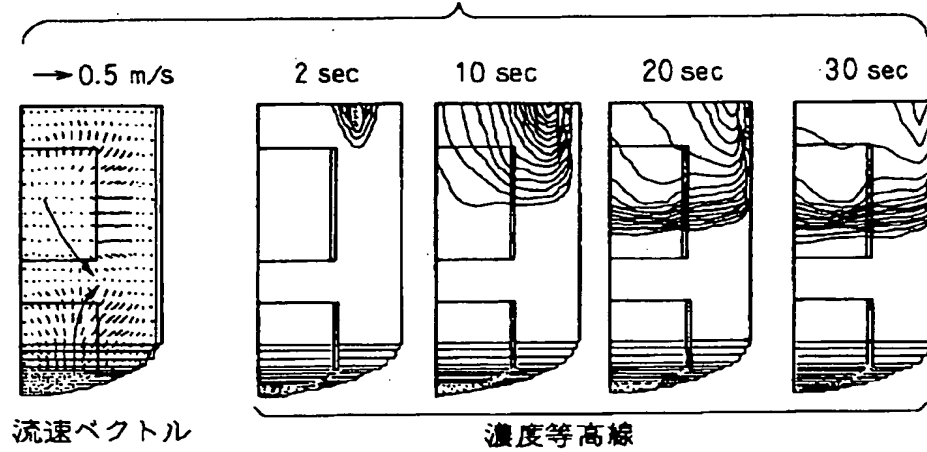


【図7】

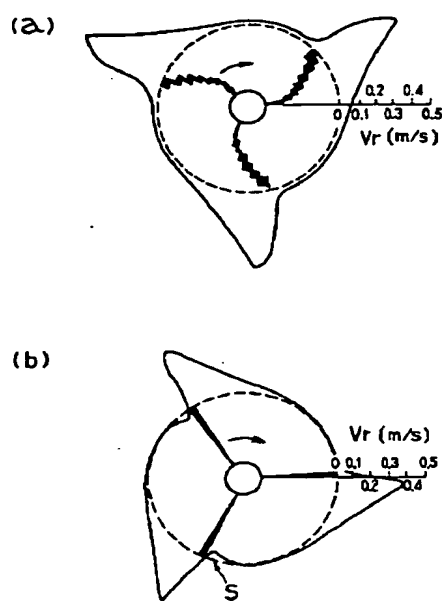
(a)



(b)



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 栄祐
神戸市西区糺台4丁目14-31

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第2部門第1区分
 【発行日】平成6年(1994)9月27日

【公開番号】特開平5-49890
 【公開日】平成5年(1993)3月2日
 【年通号数】公開特許公報5-499
 【出願番号】特願平3-193003
 【国際特許分類第5版】
 B01F 7/16 F 7224-4G

【手続補正書】

【提出日】平成5年7月22日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】 明細書
 【発明の名称】 攪拌装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 縦形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 1枚以上の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を極力軸対称に装着し、
- ② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、
- ③ 少なくとも2枚の羽根板を有し且つ上記攪拌槽内径の1/2以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、
- ④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、
- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、
- ⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、
- ⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45～75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されている。

【請求項2】 縦形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、
- ② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、
- ③ 上記攪拌槽内径の1/2以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、
- ④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装

することが可能な空間を有し、

- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、
- ⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、
- ⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して0度超且つ90度未満の交差角度で回転方向に先行するように装着されている。

【請求項3】 縦形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、
- ② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、
- ③ 上記攪拌槽内径の1/2以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、
- ④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、
- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、
- ⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、
- ⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45～75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されている。

【請求項4】 最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成したことを特徴とする請求項1、2または3記載の攪拌装置。

【請求項5】 上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部において互いに上下方向に部分的にオーバーラップしていることを特徴とする請求項1、2、3または4記載の攪拌装置。

【請求項6】 縦形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～④の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる2段または3段のバドル翼を上記回転軸に対して上下方向に且つ各バドル翼の羽根板

を軸対称に装着し、

- ② 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、
- ③ 上記攪拌槽内径の $1/2$ 以上の翼径である最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成し且つ該最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、
- ④ 攪拌槽内面と上記バドル翼の間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、
- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、
- ⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の 20% 以下であり、
- ⑦ 上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部において互いに上下方向に部分的にオーバーラップし、
- ⑧ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して $45\sim75$ 度の交差角度で回転方向に先行するように装着されている。

【請求項7】 垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～⑤の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、
- ② 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、
- ③ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはやや小さく、
- ④ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は最下段翼の翼径の $1/3$ 以下であり、
- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して $45\sim75$ 度の交差角度で回転方向に先行するように装着されている。

【請求項8】 縦形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～⑤の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる少なくとも一対のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、
- ② 最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、
- ③ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して $45\sim75$ 度の交差角度で回転方向に先行するように装着され、
- ④ 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、
- ⑤ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の 20% 以下である。

【請求項9】 最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成したことを特徴とする請求項8記載の攪拌装置。

【請求項10】 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径より小さいことを特徴とする請求項8または9記載の攪拌装置。

【請求項11】 上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部の少なくとも1箇所において互いに上下方向に部分的にオーバーラップしていることを特徴とする請求項8、9または10記載の攪拌装置。

【請求項12】 垂設された回転軸を有する攪拌装置において、下記①～④の構成を有することを特徴とする攪拌装置。

- ① 2枚の羽根板からなる少なくとも一対のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、
- ② 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して $45\sim75$ 度の交差角度で回転方向に先行するように装着され、
- ③ 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、
- ④ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離が最下段翼の翼径の $1/3$ 以下である。

【請求項13】 各羽根板が実質的に平板であることを特徴とする請求項1、2、3、6、7、8または12記載の攪拌装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は攪拌装置に関し、特に、乱流域から層流域に至る攪拌操作条件下における液の混合、溶解、晶析、反応、スラリー懸濁などの攪拌処理を効率よく行うための攪拌装置に関する。

【0002】

【従来の技術】周知のように、攪拌装置には、その目的に応じ種々の形態の攪拌翼が用いられており、例えば、低粘度用翼としてのタービン型翼などや、高粘度用翼としてのダブルヘリカル翼などがあるが、比較的単純な翼構成で、低粘度液から高粘度液の攪拌混合、すなわち乱流域から層流域に至る広範囲の攪拌操作条件下における攪拌混合を達成するものとして、2枚羽根形のバドル翼を上下2段または3段以上に組み合わせて設けた多段攪拌翼構成が多く採用されている。

【0003】そして、これら多段攪拌翼構成を採る攪拌装置においては、翼の回転バランスと翼面に働く流体圧変動に対する回転軸の機械的強度上の見地から、各翼を 90 度の交差角度で互いに交差させて配置する方法が圧倒的に多く採用されており、また、一般に、消費動力の観点から、羽根板の高さを小さくし、各翼間の距離を大幅にあげた状態で上下多段に配置されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】一方、近年においては、攪拌装置の性能に対する要求は高度化・多様化しており、より広範囲な攪拌条件に対応できる攪拌装置が求められている。特に、バッチプロセスでは、次のように多様かつ高度な攪拌混合条件を満たす攪拌装置が望まれている。①均一混合：広い粘度範囲での良好な混合と、

液量と粘度の変化に対応して良好な均一混合が果たせる。**②伝熱混合**：低動力攪拌時において良好な伝熱能力が得られる。**③固液攪拌**：比較的沈降速度の大きな粒子の分散や、高濃度スラリーの均一混合および低剪断（低回転）での均一混合などの広範囲の固液攪拌が果たせる。**④液液分散**：シャープな液滴径分布が得られ、かつ低剪断と、攪拌で粘度が増加する液中への軽液分散とを両立させた液液分散が果たせる。**⑤翼形状の単純性**：各翼形状がシンプルでグラスライニング製の反応機類にも適用可能である。

【0005】本発明者等は、これら要請に対応するために、多段攪拌翼構成を採る従来の攪拌装置について、多方面から検討を加えた。その結果、上記の各条件を個々に満たす攪拌装置の選定はさほど難しくはないが、多項目を同時に満たす仕様選定は非常に困難であり、上記の要請に対応するには、新たな観点のもとで改善または開発されたものが必要であることが分かった。

【0006】各バドル翼の交差角度を90度とした前記従来の攪拌装置では、各翼から吐出される流体の流れによって各翼の周りに形成されるフローパターンの繋がりが不十分である。そのため流体が攪拌槽内で上下多層に分離する要因となり、かつ槽内にデッドスペースを生じる原因にもなり混合性能に悪影響を及ぼす。また、デッドスペースの発生は、流体の伝熱性能を低下させる要因となるばかりでなく、槽内壁面での固着やコンタミを生じ易くし、攪拌効率を低下させる。

【0007】また、バドル翼等の平羽根形攪拌翼を上下多段に配置した場合、攪拌槽内には、各翼の回転によって各翼の周りに複数の独立した循環流が形成される。そして、この傾向は（図6）の（a）図に示すように、上段翼（61）と下段翼（62）との翼間距離 h を大きくあげた場合により顕著となり、また、このような場合には、翼間において循環流同志が干渉しあって流れの境界Bを生じさせ、この境界Bで上下の流体の混合が抑制される。逆に、翼間における循環流同志の干渉を防止するため（b）図に示すように、一方の翼を移動させて翼間距離 h を小さくすることが考えられるが、しかし、この場合には、総翼高を確保するために、いずれかの翼の羽根板の高さを、翼間距離 h を小さくした分だけ高く（図中の h' 分）する必要があり、消費動力の増加の要因となる。また、この場合には、羽根板の高さを拡大した翼の中央で循環流が分かれ、翼間を大きくあげた場合にみられるような循環流同志の干渉に基づく流れの境界B'が生じ、結果として、攪拌槽内全体の流れの繋がりを乱す要因となったりする。

【0008】しかしながら、これら問題点を解決するために、各翼の最適交差角度や翼間距離を、各翼から吐出される流体の流れによって形成される攪拌槽内全体のフローパターンの観点から、理論的・定量的に開示したものはこれまで知られてなく、これが近來の要請を満たす

ための仕様選定を困難なものとしていた。

【0009】本発明は、上記の問題点の解決を目的とするもので、上下多段のバドル翼を混合上最適な位置関係に配置した攪拌翼構成として、各バドル翼間で適切な圧力勾配に起因する流れの繋がりを形成し、この流れが攪拌槽内全体に及ぶ1つの大きな循環流を形成して乱流域から遷移流および層流域に至る攪拌操作条件下における液の攪拌効率を高め得る攪拌装置の提供を目的とするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第一の発明とする。すなわち、第一の発明の攪拌装置は、豎形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 1枚以上の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を極力軸対称に装着し、② 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、③ 少なくとも2枚の羽根板を有し且つ上記攪拌槽内径の $1/2$ 以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45～75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されていることを特徴としている。

【0011】また、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第二の発明とする。すなわち、第二の発明の攪拌装置は、豎形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 羽根板の高さは翼径の $1/2$ 以上の大きさであり、③ 上記攪拌槽内径の $1/2$ 以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して0度超且つ90度未満の交差角度で回転方向に先行するように装着されていることを特徴としている。

【0012】また、下記①～⑦の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第三の発明とする。すなわち、第三の発明の攪拌装置は、豎形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、

① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、③ 上記攪拌槽内径の1/2以上の翼径である最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、⑦ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45~75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されていることを特徴としている。

【0013】また、上記第一、第二または第三の発明において、最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成したことを特徴とする攪拌装置を第四の発明とする。

【0014】また、上記第一、第二、第三または第四の発明において、上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部において互いに上下方向に部分的にオーバーラップしていることを特徴とする攪拌装置を第五の発明とする。

【0015】また、下記①~⑤の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第六の発明とする。すなわち、第六の発明の攪拌装置は、豎形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 2枚の羽根板からなる2段または3段のバドル翼を上記回転軸に対して上下方向に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、③ 上記攪拌槽内径の1/2以上の翼径である最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成し且つ該最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、④ 攪拌槽内面と上記バドル翼との間には邪魔板を介装することが可能な空間を有し、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはより小さく、⑥ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であり、⑦ 上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部において互いに上下方向に部分的にオーバーラップし、⑧ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45~75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されていることを特徴としている。

【0016】また、下記①~⑤の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第七の発明とする。すなわち、第七の発明の攪拌装置は、垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 2枚の羽根板からなる複数のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、③ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径と等しいかまたはやや小さく、④ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は最

下段翼の翼径の1/3以下であり、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45~75度の交差角度で回転方向に先行するように装着されていることを特徴としている。

【0017】また、下記①~⑤の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第八の発明とする。すなわち、第八の発明の攪拌装置は、豎形円筒状の攪拌槽と該攪拌槽内中心部に垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 2枚の羽根板からなる少なくとも一対のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 最下段のバドル翼を攪拌槽の底面に近接して配置し、③ 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45~75度の交差角度で回転方向に先行するように装着され、④ 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、⑤ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離は攪拌槽内径の20%以下であることを特徴としている。

【0018】また、上記第八の発明において、最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成したことを特徴とする攪拌装置を第九の発明とする。

【0019】また、上記第八または第九の発明において、上下で隣接する各バドル翼の該上段翼の翼径は該下段翼の翼径より小さいことを特徴とする攪拌装置を第十の発明とする。

【0020】また、上記第八、第九または第十の発明において、上下で隣接する各バドル翼のうち少なくとも一対のバドル翼が外端部の少なくとも1箇所において互いに上下方向に部分的にオーバーラップしていることを特徴とする攪拌装置を第十一の発明とする。

【0021】また、下記①~④の構成を有することを特徴とする攪拌装置を第十二の発明とする。すなわち、第十二の発明の攪拌装置は、垂設された回転軸を有する攪拌装置において、① 2枚の羽根板からなる少なくとも一対のバドル翼を上記回転軸に対して上下多段に且つ各バドル翼の羽根板を軸対称に装着し、② 上下で隣接する各バドル翼の該上段翼は該下段翼に対して45~75度の交差角度で回転方向に先行するように装着され、③ 羽根板の高さは翼径の1/2以上の大きさであり、④ 上下で隣接する各バドル翼の翼間距離が最下段翼の翼径の1/3以下であることを特徴としている。

【0022】又、上記第一、第二、第三、第六、第七、第八または第十二の発明において、各羽根板が実質的に平板であることを特徴とする攪拌装置を第十三の発明とする。

【0023】

【作用】攪拌槽内の流体は攪拌翼の回転によって半径方向に吐出される。バドル翼を上下多段に配置した攪拌装置では、各バドル翼それぞれから流体が吐出されるので、これらバドル翼からの吐出流同志を干渉させることなく、流れをスムーズに繋ぐことが混合効率を上げるの

に重要なポイントとなる。

【0024】ところで、上下多段のバドル翼の回転による流体の攪拌に際し、各翼それぞれの周囲には、〔図6〕の(a)図に示したように、半径方向への吐出流が形成されると同時に、その上下方向に別れて再びそれぞれの翼中心部に向かう循環流も形成される。そして、これら翼で形成された吐出流は、隣接する他方の翼の吐出流と干渉し合って流体を上下多層に分離させたり、他方の翼の半径方向への吐出流に影響を及ぼしたりして、攪拌槽内全体の流れの繋がりを乱す要因となる。

【0025】更にまた、各翼の交差角度を従来技術で常用される90度とした場合には、機械強度上は有利であるものの、粘度域によっては上下の翼間の流れをスムーズに繋ぐことが困難となり、攪拌槽内全体の流れの繋がりを乱す要因となる。

【0026】そこで本発明者らは、まず、翼間距離が小さくて上下の翼で形成される吐出流同志が繋がり易い配置関係において、各翼で形成された循環流の動きと交差角度との関連について詳細に検討した結果、これら循環流は翼に対して、ある回転遅れ位相をもって他方の翼に影響を及ぼしており、その回転遅れ位相と交差角度との相関が槽内の循環流の形成に大きく影響することを知見した。

【0027】すなわち、上下のバドル翼の交差角度を変えると、これらバドル翼の前面に発生する圧力上昇部と後面に発生する圧力降下部の上下方向の位置関係も、その交差角度に応じて変化することになり、ある範囲内の交差角度を選択する時、上下のバドル翼からの吐出流の繋がりが最も安定するとの知見を得た。

【0028】そして、これらの関係を更に詳細に検討した結果、一方のバドル翼が形成する吐出流が他方のバドル翼前面の高圧側に流れた場合、これら吐出流同志が干渉するため攪拌槽全体に及ぶ循環流が形成され難くなる。逆に、他方のバドル翼後面の低圧側に流れた場合には、互いの吐出流を乱すことなく上下の翼の間に高圧側から低圧側に向かう選択的な流れが形成され、これら翼から吐出される流れをうまく繋ぐことができ、これにより最適な圧力勾配に起因して攪拌槽内全体に及ぶ1つの大きな循環流が形成され、流体の攪拌効率を高め得るとの結論を得た。

【0029】そしてまた、このような圧力勾配に起因する混合上最適なフローパターンを生じさせるには、上段のバドル翼を下段のバドル翼に対して90度未満で先行させればよいとの推論に達した。

【0030】本発明者らは、この推論を確認するために、バドル翼を上下2段に交差させて配置した攪拌装置を基本形態のモデルとして選び、このモデル攪拌装置を基に、①上段翼と下段翼の交差角度 α (下段翼を基準とした上段翼の回転方向への先行角度)、②上段翼と下段翼の翼間距離 L 、③上段翼と下段翼の吐出力バランスに

及ぼす下段翼形状(後退翼と直線状バドル翼)の影響を、数値実験および混合実験により検討した。

【0031】数値実験は、流動の数値解析とその解析結果を利用する混合のシミュレーションからなる。まず攪拌槽内の3次元流速分布を求め、次にその結果を用いて液面から投入した拡散物質の濃度分布の経時変化をシミュレーションで求めた。なお、この数値実験の適用は、流体数値解析結果の信頼性の高い層流域に限定した。

【0032】一方、混合実験では、内径400mm、高さ800mm、容量80Ltおよび内径200mm、高さ400mm、容量10Ltの大小2種類の攪拌槽を使用し、混合時間の測定には、ヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法を利用した。また、ヨード溶液およびチオ硫酸ナトリウム溶液は、攪拌液と同じ粘度に調製したものをを用い、混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。

【0033】まず、①上段翼と下段翼の交差角度 α の違いが攪拌槽内の流動と混合過程に及ぼす影響を数値実験法により評価した。この実験では、内径 D 200mmの攪拌槽内に、翼径 d 120mm(0.6 D)のバドル翼を翼間距離 L 20mm(0.1 D)で上下2段に配置し、粘度 μ 5Pa \cdot s、密度 ρ 1400kg/m³、攪拌レイノルズ数 Re 8.4の攪拌液を、液深 H 200mm(1.0 D)、翼の回転数 2.08 r/sの共通条件にて、上下段翼の交差角度 α を零度(上下翼を同一平面配置)から90度まで変化させて攪拌した。

【0034】その実験による流速分布および混合過程の代表例を〔図7〕に示す。この〔図7〕は攪拌槽の1/2縦断面における流速ベクトルと拡散物質の混合進展を表す濃度等高線とを示す図であって、(a)図は交差角度 α を45度とした例を、(b)図は交差角度 α を零度とした例をそれぞれ示す。

【0035】交差角度 α を零度とした時には、(b)図に示すように上段バドル翼および下段バドル翼から吐出された流体は翼間において互いに衝突し、攪拌槽上部と下部との間の円滑な液体輸送を阻害する。一方、交差角度 α を45度とした時には、(a)図に示すように攪拌槽上部から下部への液体輸送が盛んである。

【0036】また、これに対応する混合過程の相違は、交差角度 α が零度では投入後30秒経過しても下段翼部まで拡散物質は輸送されないのに対して、交差角度 α が45度では投入後30秒で槽底部まで拡散物質が輸送される。すなわち上下のバドル翼を同一平面に配置するよりも、これら翼を45度の交差角度で配置する方が、上段翼と下段翼の流れが繋がり、速やかな混合が達成される。また、本手法を用いて種々の交差角度 α を検討した結果、交差角度 α は30度以上90度未満の範囲内、望ましくは45度から75度が適切な角度範囲として見いだされ、これにより前述した推論が成立することが確認された。

【0037】続いて、②上段翼と下段翼の翼間距離 L の最適範囲を把握するために、上下段の交差角度 α を45度に設定する一方で、翼間距離 L を攪拌槽の内径 D の10%

から30%の範囲に変化させ、上記と同条件の攪拌による実験を行った。その実験による流速分布を〔図8〕に示す。なお、〔図8〕は攪拌槽の1/2縦断面における流速ベクトルを示す図であって、(a)図は翼間距離 L を0.1D(10%)に設定した例を、(b)図は翼間距離 L を0.2D(20%)に設定した例を、(c)図は翼間距離 L を0.3D(30%)に設定した例をそれぞれ示す。

〔0038〕翼間距離 L が0.1Dから0.3Dまでに増加するに従い〔図8〕に示すように、上段バドル翼の吐出流が、下段バドル翼の回転域に進入する度合いが減少して行き、0.3Dではほとんど進入することなく下段バドル翼の吐出流に押し返されている。一方、0.2D以下では下段バドル翼の回転域に進入して流れが繋がっている。従って、翼間距離 L を0.2D以下、好ましくは0.1Dに設定することによって、攪拌槽内での流れが繋がりと、効率のよい混合を実現することができる。

〔0039〕更にまた、多段翼構成で効率よい攪拌混合を行うには、③上段翼と下段翼の吐出力バランスが重要であり、本実験では、層流域と乱流域での吐出力バランスを検討し、最下段のバドル翼としてその外端部を後退羽根に形成した後退羽根翼を採用して攪拌槽下部の吐出力を強化し、粘度対応性と動力効率の向上を図った。

〔0040〕3枚羽根形について、層流時における通常の直線状バドル翼と後退羽根翼周囲の半径方向吐出流速解析結果を〔図9〕に例示する。なお、〔図9〕の(a)図は後退羽根翼周囲の半径方向の吐出流速分布を、(b)図は直線状バドル翼周囲の半径方向の吐出流速分布をそれぞれ示す図である。

〔0041〕〔図9〕に示すように、後退羽根翼では、直線状バドル翼に認められる翼端後面での液体の吸込み S がなく、広い角度範囲にわたり液体が吐出されており、また最大吐出流速も、同一外径の直線状バドル翼のそれに比べて30%大きい。

〔0042〕一方、バドル翼の吐出流速はその外径(翼スパン)に左右されるので、攪拌槽下部の吐出力を強化するには、最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大きな径とすることでも対応できる。

〔0043〕以上に把握された最適条件より、交差角度 α を45度、翼間距離 L を0.1Dに組み合わせた多段バドル翼を用いると、粘度 $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ 以上の層流域では攪拌槽内全体が良好に混合された。しかし、粘度 $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ 以下の層流から乱流へ遷移する状態では、上下翼の流れの繋がりが不安定になり、混合がやや遅れ気味になる傾向が認められた。

〔0044〕この問題を解決するために種々検討を加えた結果、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせるとき、これらバドル翼から吐出される流れを、隣接するバドル翼の回転域に進入させてうまく繋ぐことができ、

これにより最適な圧力勾配に起因するフローパターンが形成され、遷移域の流体についても攪拌効率を高め得るとの結論を得た。

〔0045〕そして、その効果を確認するために、上段バドル翼の両外側下端部に下方に向けて突出して下段バドル翼にオーバーラップする短冊形のフィン部を設け、この構成のもとで、粘度 $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ 以下の攪拌液を、上記条件にて攪拌した。

〔0046〕その結果、上段バドル翼の両外側下端部に設けたフィン部により、上下段バドル翼の流れの繋がりが安定して速やかな混合が実現した。また、フィン部を設けたことにより、遷移域や乱流域において良好な均一混合を得ることができるばかりでなく、層流域においてもフィン部のないものに比べて一層良好な混合が可能であることが確認された。

〔0047〕本発明は、以上に述べた調査で確認された諸条件を把握した上でなされたものである。すなわち、回転軸に上下多段に装着させた複数のバドル翼の、上段に位置する各バドル翼を上下で隣接する下段のバドル翼に対して90度未満の交差角度で回転方向に先行させて配置することで、上段翼と下段翼の流れを繋がらせて、速やかな混合を実現する。また、上記交差角度を45度～75度とすることで、上段翼と下段翼の流れの繋がりをより安定なものとし、より確実に速やかな混合を実現する。また、最下段のバドル翼の外端部を後退羽根に形成することで、攪拌槽下部の吐出力を強化して、攪拌槽内全体のフローパターンを安定化させると共に、粘度対応性と動力効率を向上させる。また、最下段のバドル翼をその上段に位置する他のバドル翼よりも大きな径とすることでも、攪拌槽下部の吐出力を強化して、乱流域での攪拌槽内全体のフローパターンを安定化させると共に、粘度対応性と動力効率を向上させる。

〔0048〕また、上下で隣接するバドル翼それぞれの翼間距離を攪拌槽の内径寸法の20%以下の寸法とすることで、上段翼と下段翼の流れの繋がりをより安定なものとし、より効率のよい混合を実現する。また、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせることで、遷移域の流体についても、上段翼と下段翼の流れの繋がりを確実にかつ安定なものとして、良好な均一混合を実現する。

〔0049〕

【実施例】

以下に、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

〔図1〕は本発明の1実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は一部を切り欠いた斜視図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。なお、本実施例は、本発明の攪拌翼構成をガラスライニング型機器に適用した例である。

〔0050〕〔図1〕において、(1)は攪拌槽であって、この攪拌槽(1)は、外周に熱交換用のジャケット(1

a)を装着した型円筒容器に形成されている。また、この攪拌槽(1)の内周面寄りには、2枚の邪魔板(6)が円周方向に等ピッチに槽上部から垂設されている。

【0051】(2)は回転軸であって、この回転軸(2)は攪拌槽(1)の中心部に垂設され、攪拌槽(1)の上方中央部に装着された駆動装置(5)により(b)図中の矢印Aで示す方向に回転駆動される。

【0052】(3)は下段翼であって、2枚の羽根板(3a)(3b)からなり、これら羽根板(3a)(3b)は軸対称であって、羽根板の高さ h 、は翼径 d 、の $1/2$ 以上の大きさであり、また翼径 d 、は攪拌槽内径 D の $1/2$ 以上である。この下段翼(3)は下縁部を攪拌槽(1)底の曲面に沿う形状に形成すると共に、両外側部を(b)図中の矢印Aに示す回転方向に対して後退羽根に形成したバドル形翼で、回転軸(2)の下端部に装着されて攪拌槽(1)の底面に近接して配されている。

【0053】(4)は上段翼であって、2枚の羽根板(4a)(4b)からなり、これら羽根板(4a)(4b)は軸対称であって、羽根板の高さ h 、は翼径 d 、の $1/2$ 以上の大きさである。

【0054】この上段翼(4)は、その翼径 d 、が下段翼の翼径 d 、と略同径であって、その両外側下端部に下方に向けて突出する短冊形のフィン部(4f)を設けたバドル形翼で、下段翼(3)の上方の回転軸(2)に装着されている。また、この上段翼(4)は、(b)図に示す交差角度 α 、すなわち下段翼(3)に対して矢印Aで示す回転方向に先行する交差角度を45度に設定すると共に、その両外側のフィン部(4f)の下端縁を、下段翼(3)の両外側の上端縁より所定寸法 Δh だけ低く位置させて、下段翼(3)と上下方向にオーバーラップさせて配されている。

【0055】上記のような構成の攪拌装置について、中高粘度域での混合効率の向上効果を確認するため、2枚のバドル翼を従来慣用された交差角度90度で上下2段に配した場合との対比において、攪拌レイノルズ数 $Re=1.7$ の層流状態で流速ベクトル分布と拡散物質の液面および槽底での濃度曲線を数値実験で求めた。この実験では、内径 $D=200\text{mm}$ の攪拌槽内に、翼径 $d=120\text{mm}(0.6D)$ のバドル翼を、交差角度 α を45度として上下2段に配置し、液深 H を $250\text{mm}(1.25D)$ 、翼の回転数を 2.08r/s に設定することを共通条件とした。また、本実施例の装置の上段翼フィン部の下段翼に対するオーバーラップ寸法 Δh は $0.05D$ とした。その結果を〔図2〕に示す。なお、〔図2〕は攪拌槽内の流速ベクトルと濃度応答曲線とを示す図であって、(a)図は本実施例によるもの、(b)図は比較例として交差角度 α を従来慣用された角度である90度とした攪拌装置によるものをそれぞれ示す。

【0056】交差角度 α を従来慣用された角度である90度とした攪拌装置では、(b)図に示すように、上下段バドル翼の流れの繋がりがあがるものの、約180秒経過しても液面部と槽底部での濃度に若干の差が残る混合が終わ

っていない。これに対し、本実施例の攪拌装置では、(a)図に示すように、上下段翼の流れが良好に繋がりを、約90秒後に液面部と槽底部の濃度が一致して混合が終わった。

【0057】以上により本実施例の攪拌装置は、交差角度 α を従来慣用された角度である90度とした攪拌装置による混合時間に比べて半分以下と、大幅に短時間で攪拌混合を達成できることが確認できた。また、その上下段翼ともに形状がシンプルであり、回転軸と一体化させて外面にガラス被覆する際に、高温焼成によって生じる変形の問題が少なく、本実施例のようなグラスライニング型機器への適用が容易である。

【0058】なお、〔図1〕に示した例の攪拌装置では、上下2段の攪拌翼構成としたが、これは一例であって、例えば、〔図3〕に示すように、バドル型翼を上下3段に配した構成の攪拌翼とされてもよく、また、本発明の要旨を逸脱しない限り、装置規模や液深に対応して3段以上の攪拌翼構成を採用されてもよい。そして、多段のバドル翼の最上段翼のみを1枚の羽根板のものとすることもできる。また、攪拌槽の内周面寄りに2枚の邪魔板(6)を配置したが、この邪魔板(6)によって旋回流が上昇流に変換され、攪拌槽内全域に亘る循環流が形成されるので、良好な混合を達成することができるのである。しかし、この邪魔板は高粘度液の攪拌混合には必ずしも必要ではない。

【0059】〔図3〕は本発明の別の実施例の攪拌装置の一部を切り欠いた斜視図であり、同図において〔図1〕と同符号を付したものは等価のもので、ここでは説明を省略する。

【0060】この実施例の攪拌装置では、下段翼(3)の上方の回転軸(2)に、〔図1〕と同様に両外側下端部にフィン部(4f)を設けた上段翼(4)が上下2段に装着され、全体として3段の攪拌翼構成とされている。また、下段翼(3)および2段の上段翼(4)は、互いの交差角度を45度に設定して配置され、また、2段の上段翼(4)は、それぞれのフィン部(4f)を隣接する下方の翼と上下方向にオーバーラップさせて配されている。

【0061】この実施例のような攪拌翼構成によれば、液深変化に対応して槽内全域を均等に攪拌でき、装置の大型化および攪拌能力の増大にも容易に対応できる。

【0062】なお、〔図1〕および〔図3〕に示した例の攪拌装置では、上段翼(4)の両外側下端部に短冊状のフィン部(4f)を設け、そのフィン部(4f)を下方に位置する他の翼と上下方向にオーバーラップさせることで、上下で隣接するバドル翼間の流れの繋がりを安定化させるものとしたが、これは一例であって、上下で隣接するバドル翼それぞれを少なくとも外端部において互いに上下方向にオーバーラップさせる本発明の要旨を逸脱しない限り、例えば、〔図4〕の(a)図に示すように下段翼(3)と上段翼(4)それぞれの一方の外側端部に短冊状の

フィン部を設けて、また、〔図4〕の(b)図に示すように上段翼(4)の両外側下端部にフィッシュテイル状に突出するフィン部を設けて、更にまた、〔図4〕の(c)図に示すように下段翼(3)と上段翼(4)それぞれの両外側端部にフィッシュテイル状に突出するフィン部を設けて、これらを互いに上下方向にオーバーラップさせることもできる。

〔0063〕また、〔図1〕および〔図3〕に示した例の攪拌装置では、攪拌槽下部の吐出力を強化して粘度対応性と動力効率の向上を図るため、最下段翼を後退羽根翼に形成したが、これは必ずしも後退羽根翼とする必要はなく、槽底部の吐出力を強化するには、最下段翼をその上段に位置する他の翼よりも大きな径のバドル形翼とすることでも対応できる。

〔0064〕〔図5〕は本発明のまた他の実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は縦断面図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。

〔0065〕〔図5〕において、(11)は攪拌槽であって、この攪拌槽(11)は、外周に熱交換用のジャケット(11a)を装着した堅型円筒容器に形成されている。また、この攪拌槽(11)の内周面上には、中心に向かうように上下方向に4枚の邪魔板(16)が円周方向に等ピッチに装着されている。

〔0066〕(12)は回転軸であって、この回転軸(12)は、攪拌槽(11)の中心部に垂設され、攪拌槽(11)の上方中央部に装着された駆動装置(15)により(b)図中の矢印Aで示す方向に回転駆動される。

〔0067〕(13)は下段翼、(14)は上段翼で、これら上・下段翼(14)、(13)は翼径 d および羽根板の高さ h を同寸としたバドル形翼で、これら上段翼(14)と下段翼(13)との翼間距離 L は攪拌槽(11)内径 D の20%以下になるように回転軸(12)に装着されている。また、下段翼(13)は、下縁部を攪拌槽(11)底の曲面に沿う形状に形成されて攪拌槽(11)の底面に近接して配され、一方、上段翼(14)は、(b)図に示す交差角度 α 、すなわち下段翼(13)に対して矢印Aで示す回転方向に先行する交差角度を90度未満に設定されている。

〔0068〕上記のような構成の攪拌装置による上下翼の交差角度 α を変えて行った具体的な混合・攪拌例について、以下に述べる。

〔0069〕上記構成のもとで、攪拌槽(11)の内径 D を200mmとし、上・下段翼(14)、(13)の翼径 d を120mm(0.6 D)、羽根板の高さ h を70mm(0.35 D)、翼間距離 L を20mm(0.1 D)とする一方で、上・下段翼(14)、(13)の交差角度 α を45度、60度および75度に設定した3種の攪拌装置を準備した。また、比較のために、上・下段翼の交差角度 α を従来慣用された90度、翼間距離 L を60mmとした点以外は本実施例のものと同一構成とした攪拌装置も準備した。

〔0070〕そして、これら4種の攪拌装置を用い、翼

回転数を125rpmとする同一条件で、粘度 $\mu = 5\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、密度 $\rho = 1400\text{kg}/\text{m}^3$ の液を混合・攪拌して、それぞれによる液の完全混合時間を測定した。

〔0071〕その結果、液の完全混合時間は、交差角度を90度とした比較例のものでは150秒要したのに対して、本実施例のものでは、交差角度を45度とした例で104秒、60度とした例で102秒、75度とした例で114秒であり、比較例のものと比べて、液の混合・攪拌効率を約25%~30%と大幅に高めることができ、本発明装置の優れた混合効果を確認することができた。

〔0072〕なお、本実施例では、上・下段翼の翼間距離 L を20mmとしたが、これは一例であって、この翼間距離 L は攪拌槽内径 D の20%以下の寸法に設定されればよい。

〔0073〕なお、この翼間距離による混合効果は所定の大きさの翼の場合に期待できるものである。すなわち、最下段のバドル翼の翼径が攪拌槽内径の1/2以上で且つ羽根板の高さが翼径の1/2以上の大きさである大型バドル翼において、翼間距離を攪拌槽内径の20%以下とすることにより、槽内の上下の流れが繋がり、効率のよい混合を実現することができるのである。

〔0074〕但し、翼間距離を小さくするについては、〔従来技術〕の項で述べたように、液深に対応するための総翼高の増大に伴う消費動力の増加はあるが、混合時間短縮の点から、この翼間距離は攪拌槽内径の20%以下(望ましくは10%前後)において装置規模および経済性から選択されることになる。

〔0075〕また、本実施例では、下段翼を上段翼と同じ翼径および羽根板の高さのバドル形翼としたが、これは一例であって、第1実施例のように下段翼を後退羽根翼に形成したり、または下段翼を上段翼よりも大きな翼径とすることも、攪拌槽下部の吐出力を強化して槽内全体の流れをスムーズに繋がらせるのに効果的である。

〔0076〕また、本実施例では、上下2段の攪拌翼構成としたが、これは本発明構成の効果を評価・説明することを容易にするためであって、本発明の要旨を逸脱しない限り、装置規模や液深に対応して2段以上の多段攪拌翼構成を採っても同様な混合・攪拌効率の向上が図れることは言うまでもない。

〔0077〕

〔発明の効果〕以上に述べたように、本発明に係る攪拌装置は、上下多段のバドル翼を、明確で混合上最適な位置関係に配置した攪拌翼構成として、各バドル翼間で適切な圧力勾配に起因する流れを形成して攪拌槽内全体におけるフローパターンの繋がりがとれ、乱流域から層流域に至る攪拌操作条件下における流体の攪拌効率を大幅に向上させることができる。

〔図面の簡単な説明〕

〔図1〕本発明の1実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は一部を切り欠いた斜視図、(b)図は(a)図

のB-B横断面図である。

【図2】攪拌槽内の流速ベクトルと濃度応答曲線を示す図で、(a)図は本発明の1実施例によるもの、(b)図は比較例によるものを示す。

【図3】本発明の別の実施例の攪拌装置の一部を切り欠いた斜視図である。

【図4】本発明に係る上下で隣接するバドル翼のオーバーラップ形態を説明する図である。

【図5】本発明のまた他の実施例の攪拌装置を示す図面であって、(a)図は縦断面図、(b)図は(a)図のB-B横断面図である。

【図6】バドル翼を上下多段に配置した攪拌装置における翼間距離と循環流との関係を示すための模式図で、(a)図は翼間距離を大きくした場合、(b)図は翼間距離を小さくした場合を示す。

【図7】上下段翼の交差角度が、攪拌槽内の流速ベクトルと、混合進展を表す濃度等高線に及ぼす影響を示す図で、(a)図はその交差角度を45度としたもの、(b)図はその交差角度を零度としたものを示す。

【図8】翼間距離が攪拌槽内の流速ベクトルに与える影響を示す図で、(a)図は翼間距離を槽内径の10%とした場合、(b)図は翼間距離を槽内径の20%とした場合、(c)図は翼間距離を槽内径の30%とした場合を示す。

【図9】(a)図は後退羽根翼周囲の半径方向の吐出流速分布を示す図、(b)図は直線状バドル翼周囲の半径方向の吐出流速分布を示す図である。

【符号の説明】

- (1)、(11)…攪拌槽
- (2)、(12)…回転軸
- (3)、(13)…下段翼
- (4)、(14)…上段翼
- (5)、(15)…駆動装置
- (3a)、(3b)、(4a)、(4b)…羽根板
- (6)、(16)…邪魔板
- D…攪拌槽内径
- d、 d_1 、 d_2 …翼径
- h、 h_1 、 h_2 …羽根板の高さ
- α …交差角度
- L…翼間距離

【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

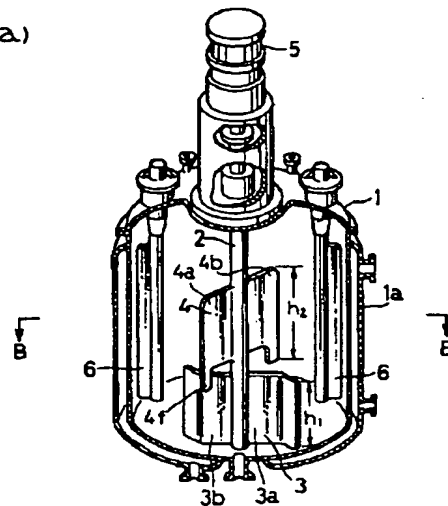
【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

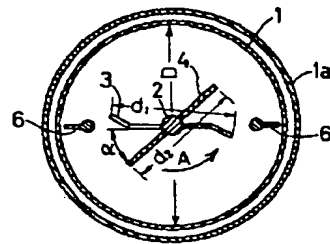
【補正内容】

【図1】

(a)



(b)



【手続補正3】

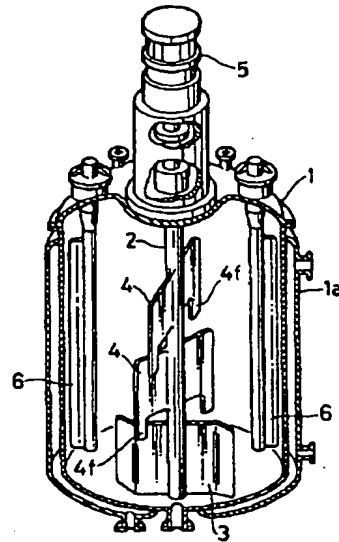
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図3

【補正方法】変更

【補正内容】

【図3】



【手続補正4】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図5

【補正方法】変更

【補正内容】

【図5】

